

ミツバチの出巢・帰巢個体識別を実現するための RFID・熱画像撮影システムの開発

橋本 浩二^{1,a)} 前田 佐嘉志^{1,b)} 高橋 伸弥¹ 鶴田 直之¹ 藍 浩之²

概要:我々はミツバチの採餌行動を解析するため、ミツバチ各個体に超小型 RF タグを装着し、巣箱出入りに設置する RFID リーダによる出巢・帰巢個体識別システムを開発中であるが、個体識別・動き方向判定精度の問題が生じている。そこで、低解像度・高レスポンス型の安価・低消費エネルギーなアレイ型赤外線センサ素子による熱画像撮影・動き解析装置を新たに開発し、RFID リーダと組み合わせることで、問題の解決と安定した連続運用を目指す。

キーワード:RFID, RF タグ, 赤外線センサ, 熱画像, ミツバチ

1. はじめに

現在、環境保護や農業再生などの点から、動植物の生態系を解析する研究の重要度が高まってきている。そのいずれの点からも注目すべき重要な種の一つであるミツバチには社会性昆虫であるという興味深い特徴がある。ミツバチは蜜源である外界の花の情報を仲間と共有する。特に採餌バチは尻振りダンスにより、蜜源への方向と距離を仲間に知らせる。しかし、ミツバチの尻振りダンスの発達過程において、巣外での採餌経験が果たす役割については明確になっていない。我々は画像処理によって、密集した巣内の数百のミツバチを自動的に識別し、軌跡を追跡し、さらに尻振りダンスを行っている採餌バチ個体の抽出を試みている[1]。そのためには、基本的な情報として、採餌バチの出巢、帰巢を正しく把握することが必要不可欠である。

近年、RFID 情報を埋め込んだ非接触型の RF タグ(IC タグ)を用い、近距離無線通信によって情報を伝達する技術が目覚ましい発展を遂げてきている。これらのタグにより取り付けられた物の特性や移動状況をリアルタイムで把握

することが可能になってきている。また、低廉化、小型・薄型化により用途の拡大が急速に進んできている。そこで我々は、RF タグを用いて採餌バチ各個体の巣への出入りを記録し、採餌行動の追跡に応用することを目指している。具体的には、ミツバチ観察巣箱においてミツバチが採餌に利用する出入口を巣箱の特定箇所限定したうえで、その出入口に RFID リーダ・アンテナを取り付け、あらかじめ背中に超小型 RF タグを取り付けた採餌バチの出巢、帰巢の自動モニタリング・システムの実現を目指している(図 1)。

しかし、RFID リーダによる採餌バチ検出・識別には下記の問題点が挙げられる。

- (1) ミツバチの個体特定は可能だが、行動解析のために重要な情報である、出巢時であるか帰巢時であるかの判別が困難である。
- (2) 通路の構造を工夫するなどしてある程度対応できるが、RFID リーダの読み取りインターバルおよびアンテナ-RF タグ間読み取り可能距離にかなりの制約があり、読み取り漏れが生じかねない。
- (3) 電波がミツバチに与える影響が未知であるのと、消費エネルギー低減化の観点から、RFID リーダの不必要な連続動作は望ましくない。

一般的なイメージセンサを用いて、動画像上での動き方向検出処理を行うことで対応しようとする場合、消費電力・レスポンス性・処理遅延といった問題を解決するのが困難である。また、安定した長期間連続稼働も困難になるという懸念がある。そこで我々は、RFID リーダと、アレイ型赤外線センサ素子を用いた熱画像撮影・動き解析装置を組み合わせ、熱動画像中に検出されるミツバチの動きに同期して RFID リーダが RF タグを読み取るシステムを提案する。

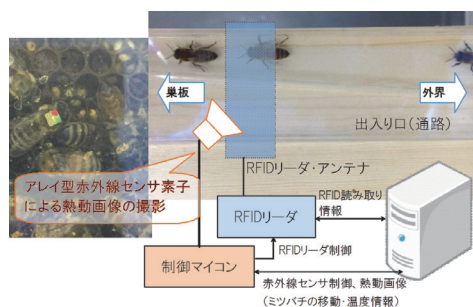


図1 提案システムの概要

¹ 福岡大学 工学部 電子情報工学科

² 福岡大学 理学部 地球圏科学科

福岡市城南区 8-19-1

^{a)} khashi@fukuoka-u.ac.jp

^{b)} maeda100sym@mdmail.tl.fukuoka-u.ac.jp

2. 熱画像撮影装置の構成

近年、エアコンやオフィス省エネ化といった民生機器制御を目的として、MEMS 技術により超小型熱電対素子と演

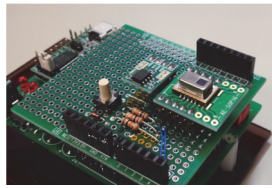


図2 試作した熱画像撮影装置

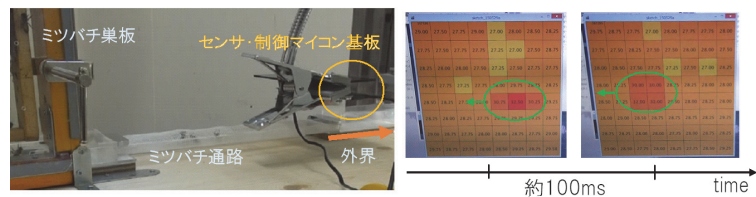


図3 実験環境(2015年6月時点)および取得した熱画像データ例

算 ASIC を1パッケージに集積した二次元サーモパイル素子:アレイ型赤外線センサ素子が開発されている. 試作で用いた素子の場合, $8 \times 8 = 64$ 画素の正方形エリア温度分布を 10fps 以上で出力可能である. センサ精度は個体差があるものの最大 5.0m の距離で $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ (worst case) である. ミツバチは変温動物であり, 平常時体温は室温より 2°C 程度高く, また帰巣したばかりのミツバチの体温は一般に 35°C 以上と相当高い. よって, 巣箱出入り口と外界の間に通路を設け, 通路直上にアレイ型赤外線センサを, 直下に RFID リーダ・アンテナを設置する. そして PC において, センサが出力するサーモグラフィ動画より, ミツバチの移動方向・体温を検出するようにする.

以上の動作を検証するため, Arduino (Atmega328P) をベースに電源系に改造を加えたマイコン基板および赤外線センサ素子(Panasonic AMG8831・1 個)実装基板からなる熱画像撮影装置を試作した(図 2). 本装置は USB ケーブルで PC と接続される. 今回, PC での熱画像解析は Java ベース開発環境 Processing 上で開発した.

3. 熱画像解析手法の検討

熱画像撮影装置により得られた画像の画素値は, 時間軸方向にばらつきが多く, そのままでは, ミツバチの通過を識別しにくい. そこで時間軸方向に値の平均を取るスムージング処理を行う. そしてミツバチの通過は, 異なる時刻のスムージング後画像の間で画素値の差分を求め, しきい値以上であるかどうかで判断する. しきい値はあらかじめ, ミツバチが通過したことを目視で判断し, その結果よりしきい値を決定するものとする. 判断の単位は時系列の一続きの画像とし, それを事例と呼ぶこととする. ミツバチが通過した事例では, 通過が起こる少し前の画像から通過が終わるまでの画像を単位とし, これを通過事例とする. 通過がない事例を平常事例とする. 事例ごとに全画像の全画素から, 差分値の最大値を求め, それを事例評価値とする. しきい値は複数の平常事例の事前評価値の平均と, 複数の通過事例の事例評価値の平均との中間に設定する.

4. 評価実験

事例評価値がしきい値以上の場合, システムが「ミツバチが通過した」と判断し, そうでない場合「通過しなかった」とする. 通過事例のうち, システムも通過したと判断した場

合の割合を通過成功率とし, 平常事例のうちシステムも通過しなかったと判断した場合の割合を平常成功率とする. 通過成功率と平常成功率の平均を平均成功率とする.

本年 8 月 4 日午後 4 時・気温 32°C ・晴の条件で, 観察巣箱通路の外界側に装置を設置した. まず人の指で動作確認(4事例)を行った後, 実際のミツバチの通過(18事例)で評価実験を行った. また 10 事例:ミツバチ A 群を学習用, 8 事例:B 群を比較評価用に分けた. 結果は表 1 の通り.

表1 実験結果

実験対象	通過成功率	平常成功率	平均成功率
人の指	100 %	100 %	100 %
ミツバチ A 群	71 %	67 %	69 %
ミツバチ B 群	100 %	33 %	67 %

人の指はミツバチより高温でかつ熱容量が大きいので, 識別は容易であったと推察される. 外気温が高く, しかも外界より風が流入しやすいという厳しい実験条件であったが, それでも RFID リーダを連動させるにはおおむね問題ない程度に高い通過成功率を得ることができた. また, 今回検討した解析手法は, 安価・低消費電力マイコンでも支障なく実装できることがわかった.

5. おわりに

我々はミツバチの通過を検出するために, RFID リーダと熱画像撮影装置を組み合わせたシステムを提案した. 実験の結果, 熱画像解析により適切なタイミングで RFID リーダを動作させられることがわかった. 今後の課題として, 実験環境の整備, システム実装の改良, 検出能力の向上などが挙げられる.

参考文献

- [1] 高橋 伸弥, 井手 翔太, 鶴田 直之, 藍 浩之:ミツバチ歩行軌跡の複数個体同時追跡アルゴリズムを用いた尻振りダンス軌跡の抽出, 人工知能学会全国大会論文集 29, 1-4, 2015 (2015).
- [2] 前田 佐嘉志, 橋本 浩二, 高橋 伸弥, 鶴田 直之, 藍 浩之:ミツバチの出巣・帰巣モニタリングのための熱画像解析による移動体通過検出, 第 68 回 電気・情報関係学会九州支部連合大会 (2015).